

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2001 DERWENT INFO LTD. All rts. reserv.

011637084 **Image available**
WPI Acc No: 1998-053992/199806
XRPX Acc No: N98-042707

**Catadioptric system for object image projection ion photolithography -
comprises first and second imaging systems with optical axes and concave
mirror, with associated light flux separator**

Patent Assignee: NIKON CORP (NIKR)

Inventor: OMURA Y

Number of Countries: 003 Number of Patents: 003

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 19726058	A1	19980102	DE 1026058	A	19970619	199806 B
JP 10010431	A	19980116	JP 96180013	A	19960620	199813
KR 98005328	A	19980330	KR 9721294	A	19970528	199904

Priority Applications (No Type Date): JP 96180013 A 19960620

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
DE 19726058	A1	20		G03F-007/20	
JP 10010431	A	12		G02B-017/08	
KR 98005328	A			H01L-021/027	

Abstract (Basic): DE 19726058 A

The system has a first imaging system (S1), with an optical axis, and which effects a magnification. The light from the object (m) is received by the imaging system and deflected by its concave mirror (CM) to generate an intermediate image.

A second imaging system (S2), with an optical axis, receives the light from the intermediate image and generates a reduced size image of the object on the substrate (w). A light flux separator (M1), near the intermediate image, either passes light from the object to the concave mirror, or passes the mirror reflected light to the second imaging system.

USE - For manufacture of integrated circuits.

ADVANTAGE - High work spacing, high resolution images, and suitable for use with shortwave light.

Dwg.1/4

Title Terms: CATADIOPTRIC; SYSTEM; OBJECT; IMAGE; PROJECT; ION;
PHOTOLITHOGRAPHIC; COMPRISE; FIRST; SECOND; IMAGE; SYSTEM; OPTICAL; AXIS;
CONCAVE; MIRROR; ASSOCIATE; LIGHT; FLUX; SEPARATE

Derwent Class: P81; P84; U11

International Patent Class (Main): G02B-017/08; G03F-007/20; H01L-021/027

International Patent Class (Additional): G02B-013/14; G02B-013/18;
G02B-013/24

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): U11-C04C2; U11-C04E2

IS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-10431

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月16日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 17/08			G 0 2 B 17/08	A
13/18			13/18	
13/24			13/24	
G 0 3 F 7/20	5 2 1		G 0 3 F 7/20	5 2 1
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 1 5 D
審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 12 頁)				

(21) 出願番号 特願平8-180013

(22) 出願日 平成8年(1996) 6月20日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 大村 泰弘

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

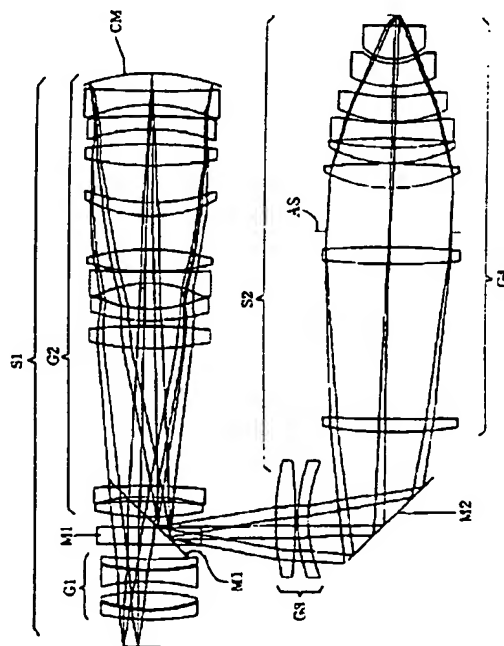
(74) 代理人 弁理士 山口 孝雄

(54) 【発明の名称】 反射屈折光学系

(57) 【要約】

【課題】 像側において十分大きな開口数および作動距離を有し、紫外線波長域でクォーターミクロン単位の解像度を有する小型の反射屈折光学系。

【解決手段】 物体面からの光に基づいて物体面の中間像を形成するための第1結像光学系S1と、中間像からの光に基づいて物体面の縮小像を形成するための第2結像光学系S2と、中間像が形成される位置の近傍に配置され第1結像光学系S1を介した光を第2結像光学系S2に向かって偏向するための第1光路偏向部材M1とを備えている。第1結像光学系S1は凹面反射鏡CMを有し、物体面からの光は凹面反射鏡CMで反射された後に、第1結像光学系S1の光路中に中間像を形成し、条件式(1)および(2)を満足する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体面からの光に基づいて前記物体面の中間像を形成するための第1結像光学系S1と、前記中間像からの光に基づいて前記物体面の縮小像を形成するための第2結像光学系S2と、前記中間像が形成される位置の近傍に配置され前記第1結像光学系S1を介した光を前記第2結像光学系S2に向かって偏向するための第1光路偏向部材M1とを備え、

前記第1結像光学系S1は凹面反射鏡C1を有し、前記物体面からの光は前記凹面反射鏡C1で反射された後に、前記第1結像光学系S1の光路中に前記中間像を形成し、

前記第1光路偏向部材M1は、前記第1結像光学系S1の光路中に配置された平面反射鏡を有し、

前記第1結像光学系S1の結像倍率を β 1とし、前記第1結像光学系S1の光軸と前記第2結像光学系S2の光軸との交点と前記物体面との間の軸上距離を L 1とし、前記物体面と前記凹面反射鏡C1との間の軸上距離を L Mとしたとき、

$$0.75 < |\beta 1| < 0.95$$

$$0.13 < L 1 / L M < 0.35$$

の条件を満足することを特徴とする反射屈折光学系。

【請求項2】 前記第1結像光学系S1は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、前記凹面反射鏡C1とを有し、前記物体面からの光は、前記第1レンズ群G1および前記第2レンズ群G2を介して前記凹面反射鏡C1で反射された後に、前記第1レンズ群G1と前記第2レンズ群G2との間の光路中に前記中間像を形成することを特徴とする請求項1に記載の反射屈折光学系。

【請求項3】 前記第2レンズ群G2は、少なくとも2つの互いに異なる負屈折力を有する屈折素子と、少なくとも2つの互いに異なる正屈折力を有する屈折素子とを有することを特徴とする請求項2に記載の反射屈折光学系。

【請求項4】 前記第1レンズ群G1は、少なくとも3つの互いに異なる屈折力を有する屈折素子を有することを特徴とする請求項2または3に記載の反射屈折光学系。

【請求項5】 前記第2結像光学系S2は、物体側から順に、全体として正の屈折力を有する第3レンズ群G3と、該第3レンズ群G3を介した光を偏向するための第2光路偏向部材M2と、全体として正の屈折力を有する第4レンズ群G4とを有し、前記中間像からの光は、前記第3レンズ群G3、前記第2光路偏向部材M2、および前記第4レンズ群G4を介して、前記物体面の縮小像を形成することを特徴とする請求項2乃至4のいずれか1項に記載の反射屈折光学系。

【請求項6】 前記反射屈折光学系を構成する屈折素子

は、石英および蛍石の少なくともいずれか一方の光学材料から形成されていることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の反射屈折光学系。

【請求項7】 前記第2レンズ群G2は少なくとも1つの蛍石からなる正レンズを有し、

前記第2レンズ群G2中の蛍石からなる正レンズの屈折力の総和を ϕ cとし、前記凹面反射鏡C1の屈折力を ϕ mとしたとき、

$$0.5 < |\phi c / \phi m| < 1.6$$

の条件を満足することを特徴とする請求項2乃至6のいずれか1項に記載の反射屈折光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は反射面と屈折面とを有する反射屈折縮小光学系に関し、特に半導体素子や液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される投影露光装置の投影光学系に好適な、紫外線波長域でクォーターミクロン単位の解像度を有する反射屈折光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、フォトマスクまたはレチクル（以下、「マスク」という）のパターンを投影光学系を介してフォトリソグロフ等が塗布されたウエハ（またはガラスプレート等）上に転写する投影露光装置が使用されている。この種の投影露光装置では、半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影光学系に要求される解像力はますます高まっている。この解像力に関する要求を満足するためには、照明光の波長を短くし且つ投影光学系の像側の開口数（NA）を大きくする必要がある。しかしながら、照明光の波長を短くすると、光の吸収が発生するため、実用に耐え得る光学材料の種類は限られる。たとえば、300nm以下の波長を有する光の場合、実用上使用可能な光学材料は石英および蛍石だけである。

【0003】ところで、石英のアップベ数と蛍石のアップベ数とは、色収差を補正するのに十分な程は離れていない。したがって、たとえば300nm以下の波長を有する光の場合、石英や蛍石からなる屈折系だけで投影光学系を構成すると、色収差をはじめとする諸収差の補正が困難となる。一方、反射系では、色収差が発生しない。そこで、投影露光装置の投影光学系として、反射系と屈折系とを組み合わせた、いわゆる反射屈折光学系が種々提案されている。なお、光学系の光路中において中間像を1回だけ形成するタイプとしては、特開昭63-103319号公報、特公平7-111512号公報、特公平5-25170号公報、USP-4,799,966号明細書等に開示の反射屈折光学系が知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】一般に、軸上物点から

の光線を含む光束に基づいて物体像を形成する反射屈折光学系では、光路偏向のための透過反射面を有するビームスプリッターを使用する必要がある。しかしながら、ビームスプリッターを用いた反射屈折光学系では、像面に位置決めされたウエハからの反射光による内面反射が発生したり、ビームスプリッターよりも像側に配置された光学系の屈折面での内面反射が発生したり、ビームスプリッターの透過反射面等においてフレアーや照明ムラの原因となる迷光が発生し易い。また、光学系の像側の開口数を大きくしようとすると大型のビームスプリッターが必要となり、ビームスプリッターにおける光量損失に起因する露光時間の増大が半導体製造工程におけるスループットの低下を招く。なお、特開平6-300973号公報等に開示されているように、光量損失を回避するためにビームスプリッターとして偏光ビームスプリッターを採用することができる。しかしながら、開口数に応じた大型の偏光ビームスプリッターを製造することは極めて難しく、透過反射膜の不均一性、角度特性、光の吸収、位相変化などが結像特性を低下させる原因となる。

【0005】一方、軸上物点からの光線を用いることなく物体像を形成する反射屈折光学系すなわちリング視野光学系では、形成した中間像の近傍に平面反射鏡を配置することにより、ビームスプリッターを用いることなく光路偏向（光路分割）を実現することができる。たとえば、投影光学系としてリング視野光学系を用いるステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置では、マスクとウエハとを投影光学系に対して同時に相対移動させることによって、ウエハの各ショット領域にマスクパターンを走査露光する。なお、リング視野光学系において中間像を複数回形成すると、光学系の光路長が長くなる。また、投影露光装置に適用されたリング視野光学系において凹面反射鏡を複数枚使用すると、光路偏向のために露光領域を光軸から大きく離す必要が生じ、光学系の大型化は避けられない。以上より、1つの凹面反射鏡を有し中間像を1回だけ形成するリング視野光学系が望ましい。上述の公報および明細書のうち、特公平7-111512号公報およびUSP-4,779,966号明細書が、1つの凹面反射鏡を有し中間像を1回だけ形成するリング視野光学系を開示している。

【0006】まず、USP-4,779,966号明細書に開示の反射屈折光学系では、中間像の形成位置よりも像面寄りの縮小側に凹面反射鏡を配置している。ところが、物体面側よりも縮小側の開口数が大きい場合、縮小側における光路偏向が困難となり、光学系の像側の開口数NAを大きく確保することができない。その結果、十分な解像度を確保することができず、凹面反射鏡の大型化も避けられない。一方、特公平7-111512号公報においては、中間像を形成するための第1結像光学系が凹面反射鏡を含んで、完全対称型に構成されてい

る。また、第1結像光学系を介して形成される中間像は、物体面の等倍像となっている。こうして、物体面の等倍中間像を形成する構成により、第1結像光学系における収差の発生を軽減させている。その結果、反射屈折光学系全体の倍率を第2結像光学系だけで担うこととなり、第2結像光学系への倍率の負担が重くなりすぎる。特に、光学系に大きな開口数NAが要求される場合、第2結像光学系の大型化および複雑化は避けられない。さらに、中間像が物体面の付近に形成されるため、偏光ビームスプリッター等の光路偏向部材を用いない限り、物体側において十分な作動距離（ワーキングディスタンス）を確保することができない。

【0007】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、像側において十分大きな開口数および作動距離を有し、紫外線波長域でクォーターミクロン単位の解像度を有する小型の反射屈折光学系を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明においては、物体面からの光に基づいて前記物体面の中間像を形成するための第1結像光学系S1と、前記中間像からの光に基づいて前記物体面の縮小像を形成するための第2結像光学系S2と、前記中間像が形成される位置の近傍に配置され前記第1結像光学系S1を介した光を前記第2結像光学系S2に向かって偏向するための第1光路偏向部材M1とを備え、前記第1結像光学系S1は凹面反射鏡CMを有し、前記物体面からの光は前記凹面反射鏡CMで反射された後に、前記第1結像光学系S1の光路中に前記中間像を形成し、前記第1光路偏向部材M1は、前記第1結像光学系S1の光路中に配置された平面反射鏡を有し、前記第1結像光学系S1の結像倍率を β 1とし、前記第1結像光学系S1の光軸と前記第2結像光学系S2の光軸との交点と前記物体面との間の軸上距離をL1とし、前記物体面と前記凹面反射鏡CMとの間の軸上距離をLMとしたとき、

$$0.75 < |\beta 1| < 0.95$$

$$0.13 < L1/LM < 0.35$$

の条件を満足することを特徴とする反射屈折光学系を提供する。

【0009】本発明の好ましい態様によれば、前記第1結像光学系S1は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、前記凹面反射鏡CMとを有し、前記物体面からの光は、前記第1レンズ群G1および前記第2レンズ群G2を介して前記凹面反射鏡CMで反射された後に、前記第1レンズ群G1と前記第2レンズ群G2との間の光路中に前記中間像を形成する。この場合、前記第2レンズ群G2は、少なくとも2つの互いに異なる負屈折力を有する屈折素子と、少なくとも2つの互いに異なる正屈折力を有する屈折素子とを有することが好ましい。また、前記第1レンズ群G1は、少なく

とも3つの互いに異なる屈折力を有する屈折素子を有することが好ましい。

【0010】また、本発明の好ましい態様によれば、前記第2結像光学系S2は、物体側から順に、全体として正の屈折力を有する第3レンズ群G3と、該第3レンズ群G3を介した光を偏向するための第2光路偏向部材M2と、全体として正の屈折力を有する第4レンズ群G4とを有し、前記中間像からの光は、前記第3レンズ群G3、前記第2光路偏向部材M2、および前記第4レンズ群G4を介して、前記物体面の縮小像を形成する。さらに、前記反射屈折光学系を構成する屈折素子は、石英および蛍石の少なくともいずれか一方の光学材料から形成されていることが好ましい。また、前記第2レンズ群G2は少なくとも1つの蛍石からなる正レンズを有し、前記第2レンズ群G2中の蛍石からなる正レンズの屈折力の総和を ϕ_c とし、前記凹面反射鏡CMの屈折力を ϕ_m としたとき、

$$0.5 \leq |\phi_c / \phi_m| \leq 1.6$$

の条件を満足することが好ましい。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明においては、第1結像光学系S1が縮小の結像倍率を有するため、第2結像光学系S2への屈折力の負担が軽減される。その結果、光学系の像側の開口数NAを大きくすることが可能となるとともに、第2結像光学系S2の大型化および複雑化を回避することもできる。換言すれば、本発明の反射屈折光学系は、像側において十分な開口数を有する小型の光学系であるにもかかわらず、紫外線波長域でクォーターミクロン単位の解像度を有する。

【0012】以下、本発明の各条件式について説明する。本発明においては、以下の条件式(1)および(2)を満足する。

$$0.75 < |B1| < 0.95 \quad (1)$$

$$0.13 < 1.1 / LM < 0.35 \quad (2)$$

ここで、

B1：第1結像光学系S1の結像倍率

L1：第1結像光学系S1の光軸と第2結像光学系S2の光軸との交点と物体面との間の軸上距離（光軸に沿った幾何学的距離）

LM：物体面と凹面反射鏡CMとの間の軸上距離

【0013】条件式(1)は、第1結像光学系S1の結像倍率について適切な範囲を規定している。条件式

(1)の下限値を下回ると、中間像側の開口数NAが大きくなり過ぎるため、第1光路偏向部材M1による光路偏向が難しくなってしまう。一方、条件式(1)の上限値を上回ると、第1結像光学系S1の結像倍率B1が等倍に近づくので、第2結像光学系S2への屈折力の負担が大きくなる。このため、光学系の像側の開口数NAを大きくすることができなくなるとともに、第2結像光学系S2の大型化および複雑化を回避することもできなく

なる。なお、条件式(1)下限値を0.8に、上限値を0.9に設定することがさらに好ましい。

【0014】条件式(2)は、第2結像光学系S2と物体面との適切な位置関係について規定している。条件式(2)の下限値を下回ると、像側において十分な作動距離を確保することができなくなってしまう。その結果、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に対して、本発明の反射屈折光学系を適用することが不可能となる。一方、条件式(2)の上限値を上回ると、コマ収差および歪曲収差を良好に補正することが困難となってしまう。なお、条件式(2)の下限値を0.19に、上限値を0.3に設定することがさらに好ましい。

【0015】また、第1結像光学系S1が、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、凹面反射鏡CMとを有し、物体面からの光が、第1レンズ群G1および第2レンズ群G2を介して凹面反射鏡CMで反射された後に、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間の光路中に中間像を形成することが好ましい。この場合、中間像が形成される位置の近傍に第1光路偏向部材M1を配置して光路偏向を行うことが容易になるとともに、光学系の大型化を回避することもできる。

【0016】また、第2レンズ群G2は、少なくとも2つの互いに異なる負屈折力を有する屈折素子と、少なくとも2つの互いに異なる正屈折力を有する屈折素子とを有することが好ましい。負レンズのような屈折素子は、コマ収差、球面収差、像面湾曲等の補正に欠くことができない。一方、正レンズのような屈折素子は、光学系を大型化することなく、大きな開口数NAおよび大きな露光領域を確保するために必要となる。さらに、第2結像光学系S2の収差を補償して第2結像光学系S2への収差補正の負担を軽くするためには、少なくとも2つの互いに異なる負屈折力を有する負レンズと少なくとも2つの互いに異なる正屈折力を有する正レンズとが必要となる。

【0017】また、第1レンズ群G1は、少なくとも3つの互いに異なる屈折力を有する屈折素子を有することが好ましい。近時、光学系に対して解像力の向上が求められるにつれて、歪曲収差の補正や像面湾曲の補正に対しても厳しい仕様（スペック）が要求されている。このような厳しい仕様を達成するためには、製造時における光学系の収差調整が必要となる。一般に、光学系の収差調整用レンズとして、物体面の近傍に配置されたレンズを用いることが有効である。特に、本発明では、物体面からの光が第2レンズ群G2中の光路を往復するので、収差調整用のレンズとして第2レンズ群G2を用いるのは適当でない。

【0018】そこで、少なくとも3つの互いに異なる屈折力を有する屈折素子で第1レンズ群G1を構成し、第1レンズ群G1を収差調整用レンズとして用いることにより、製造時において歪曲収差や像面歪曲の調整が可能

となる。また、少なくとも3つの互いに異なる屈折力を有する屈折素子で第1レンズ群G1を構成することにより、物体側での作動距離を大きく確保することが可能となり、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明の反射屈折光学系を適用することができる。

【0019】また、第2結像光学系S2が、物体側から順に、正屈折力の第3レンズ群G3と、第2光路偏向部材M2と、正屈折力の第4レンズ群G4とを有し、中間像からの光が、第3レンズ群G3、第2光路偏向部材M2および第4レンズ群G4を介して、物体面の縮小像を形成することが好ましい。ここで、第3レンズ群G3は、フィールドレンズの役割を果たす。また、第2光路偏向部材M2は、第1光路偏向部材M1との協働により、物体面と像面とを平行に保つ役割を果たす。さらに、第4レンズ群G4は、主として球面収差やコマ収差を補正し、光学系の像側の開口数NAを大きく確保するための重要な役割を果たす。

【0020】なお、第4レンズ群G4の光路中に可変絞リ（開口部の径が可変の開口絞り）を設けることにより、いわゆるコヒーレンスファクタ（ σ 値）を調整することができる。例えば特公昭62-50811号公報には、焦点深度を深くし且つ解像力を向上させる手法として、マスクパターン中の所定部分の位相を他の部分の位相からシフトさせる位相シフト法が提案されている。本発明においては、コヒーレンスファクタ（ σ 値）を調整することが可能であるため、この位相シフト法の効果をさらに向上させることができるという利点がある。

【0021】また、本発明の反射屈折光学系を構成する屈折素子は、石英および蛍石の少なくともいずれか一方の光学材料から形成されていることが好ましい。すなわち、光学系を構成するレンズが石英および蛍石のいずれか一方からなるか、あるいは石英および蛍石の双方からなる構成により、たとえば300nm以下の紫外線波長域の光を照明光として使用することができる。

【0022】また、本発明においては、第2レンズ群G2が少なくとも1つの蛍石からなる正レンズを有し、以下の条件式(3)を満足することが望ましい。

$$0.5 < \phi_c - \phi_m < 1.6 \quad (3)$$

ここで、

ϕ_c : 第2レンズ群G2中の蛍石からなる正レンズの屈折力の総和

ϕ_m : 凹面反射鏡CMの屈折力

【0023】第2レンズ群G2が少なくとも1つの蛍石からなる正レンズを有することにより、凹面反射鏡CMに入射する光束の色収差を補正するとともに、光学系全体の色収差を良好に補正することも可能となる。条件式(3)は、第2レンズ群G2中の蛍石からなる正レンズの屈折力の総和と凹面反射鏡CMの屈折力との比について適切な範囲を規定している。条件式(3)の上限値および下限値で規定される範囲を逸脱すると、像高に対し

て奇数次の色収差を良好に補正することが困難となる。

【0024】

【実施例】以下、本発明の各実施例を、添付図面に基づいて説明する。本発明の各実施例にかかる反射屈折光学系は、物体面からの光に基づいて物体面の中間像を形成するための第1結像光学系S1と、中間像からの光に基づいて物体面の縮小像を形成するための第2結像光学系S2と、中間像が形成される位置の近傍に配置され第1結像光学系S1を介した光を第2結像光学系S2に向かって偏向するための第1光路偏向部材M1とを備えている。

【0025】なお、第1光路偏向部材M1は、第1結像光学系S1の光路中に配置された平面反射鏡を有する。また、第1結像光学系S1は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、凹面反射鏡CMとを有する。そして、物体面からの光は、第1レンズ群G1および第2レンズ群G2を介して凹面反射鏡CMで反射された後に、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間の光路中に中間像を形成する。さらに、第2結像光学系S2は、物体側から順に、正屈折力の第3レンズ群G3と、第2光路偏向部材M2と、正屈折力の第4レンズ群G4とを有する。そして、中間像からの光は、第3レンズ群G3、第2光路偏向部材M2、および第4レンズ群G4を介して、物体面の縮小像を形成する。

【0026】〔第1実施例〕図1は、本発明の第1実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を概略的に示す図である。図1において、第1結像光学系S1の第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ、両凸レンズ、両凹レンズ、および物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズから構成されている。また、第1結像光学系S1の第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸レンズ、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ、両凸レンズ、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ、両凹レンズ、両凸レンズ、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ、両凸レンズ、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ、両凹レンズ、および凹面反射鏡CMから構成されている。なお、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間の光路中には、第1レンズ群G1からの光に対して平行平板板として機能し、第2レンズ群G2からの光に対して平面反射鏡として機能する第1光路偏向部材M1が設けられている。

【0027】一方、第2結像光学系S2の第3レンズ群G3は、物体側から順に、両凸レンズ、および物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズから構成されている。また、第2結像光学系S2の第4レンズ群G4は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ、両凸レンズ、開口絞りAS、両凸レンズ、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ、両凹レンズ、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ、物体側に凸面を向

けた負メネスカスレンズ、および両凸レンズから構成されている。なお、第3レンズ群G3と第4レンズ群G4との間の光路中には、平面反射鏡からなる第2光路偏向部材M2が設けられている。

【0028】次の表(1)に、本発明の第1実施例の諸元の値を掲げる。表(1)において、 B は光学系全体の縮小倍率を、 NA_i は像側の開口数を、 d_0 は物体面と光学系の最も物体側の面(第1レンズ群G1の最も物体側の面)との軸上距離をそれぞれ表している。また、面番号は物体面から像面へ光線の進行する方向に沿った物体側からの面の順序を、 r は各面の曲率半径を、 d は各面の軸上間隔をそれぞれ示している。なお、各面の曲率半径 r の符号は、物体面と凹面反射鏡CMとの間では物体側に凸面を向ける場合を正とし、第1光路偏向部材M

1と第2光路偏向部材M2との間では第1光路偏向部材M1側(物体側)に凸面を向ける場合を正とし、第2光路偏向部材M2と像面との間では像側に凸面を向ける場合を正としている。また、面間隔 d の符号は、凹面反射鏡CMから第1光路偏向部材M1までの光路中では負とし、第2光路偏向部材M2から像面までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。さらに、表(1)において、 n は基準波長 $\lambda = 193.4 \text{ nm}$ (ArFエキシマレーザの波長)に対する屈折率を表している。第1実施例では、光学材料として、石英($n = 1.56019$)および螢石($n = 1.50138$)を使用している。

【0029】

【表1】

$$B = -0.25$$

$$NA_i = 0.6$$

$$d_0 = 49.998$$

面番号	r	d	n
1	369.115	18.000	1.56019
2	245.893	0.500	
3	227.674	33.705	1.50138
4	-373.082	18.803	
5	-324.258	20.532	1.56019
6	332.817	1.674	
7	340.581	20.389	1.56019
8	604.750	27.395	
9	∞	35.000	1.56019
10	∞	16.943	
11	391.176	30.000	1.50138
12	-982.727	6.592	
13	-417.793	20.000	1.56019
14	-1216.731	261.353	
15	478.547	40.000	1.50138
16	-908.632	11.323	
17	325.213	20.000	1.56019
18	208.331	48.917	
19	-196.257	20.000	1.56019
20	1370.871	0.500	
21	430.209	42.793	1.50138
22	-366.694	61.625	
23	247.465	25.000	1.56019
24	286.274	68.753	
25	508.228	40.000	1.56019
26	-930.828	27.931	
27	-313.824	25.000	1.56019
28	-1017.267	19.454	
29	-276.064	25.000	1.56019
30	1335.454	32.821	
31	-360.416	-32.821	
32	1335.454	-25.000	1.56019

(第1光路偏向部材M1:透過面)

(凹面反射鏡CM)

33	-276.064	-19.454	
34	-1017.267	-25.000	1.56019
35	-313.824	-27.931	
36	-930.828	-40.000	1.56019
37	508.223	-68.753	
38	286.274	-25.000	1.56019
39	247.465	-61.625	
40	-366.694	-42.793	1.50138
41	430.209	-0.500	
42	1370.871	-20.000	1.56019
43	-196.257	-48.917	
44	208.331	-20.000	1.56019
45	325.213	-11.323	
46	-908.632	-40.000	1.50138
47	478.547	-261.353	
48	-1216.731	-20.000	1.56019
49	-417.793	-6.592	
50	-982.727	-30.000	1.50138
51	391.176	-1.943	
52	∞	236.637	(第1光路偏向部材M1:反射面)
53	471.443	36.090	1.50138
54	-1089.261	3.979	
55	306.858	20.000	1.56019
56	247.195	150.000	
57	∞	-162.806	(第2光路偏向部材M2)
58	-812.165	-25.000	1.56019
59	-2628.418	-290.508	
60	-1094.809	-30.000	1.56019
61	1598.936	-30.114	
62	∞	-81.437	(開口絞りAS)
63	-266.544	-45.218	1.50138
64	2115.935	-0.550	
65	-213.134	-30.096	1.56019
66	-642.205	-15.142	
67	1328.716	-30.000	1.56019
68	-654.044	-1.236	
69	-210.004	-45.167	1.56019
70	-304.557	-19.703	
71	-166.497	-45.000	1.56019
72	-72.336	-6.218	
73	-71.786	-66.262	1.56019
74	2042.086	-17.000	
(条件対応値)			
$\beta 1 = -0.877207$			
$L1 = 241$			
$LM = 1070$			
$\phi c = 0.005850$			
$\phi m = 0.005549$			
(1) $ \beta 1 = 0.877207$			
(2) $L1/LM = 0.225$			

$$(3) | \phi_c / \phi_m | = 1.054228$$

【0030】図2は、第1実施例の横収差図であって、(a)は最大像高 $Y=18.6$ における横収差図であり、(b)は中間像高 $Y=5.0$ における横収差図である。なお、各横収差図において、実線は基準波長 $\lambda=193.4\text{nm}$ に対する収差曲線を、二点鎖線は波長 $\lambda=193.0\text{nm}$ に対する収差曲線を、破線は波長 $\lambda=193.2\text{nm}$ に対する収差曲線を、一点鎖線は波長 $\lambda=193.6\text{nm}$ に対する収差曲線を、点線は波長 $\lambda=193.8\text{nm}$ に対する収差曲線をそれぞれ表している。図2の各横収差図を参照すると、第1実施例では、光学系の像側において大きな開口数および作動距離を確保しているにもかかわらず、良好に収差補正されていることがわかる。特に、 $193.4 \pm 0.4\text{nm}$ において色収差が良好に補正され、優れた結像性能を有することがわかる。

【0031】〔第2実施例〕図3は、本発明の第2実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を概略的に示す図である。図3において、第1結像光学系S1の第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ、両凸レンズ、両凹レンズ、および物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズから構成されている。また、第1結像光学系S1の第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸レンズ、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ、両凸レンズ、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ、両凹レンズ、両凸レンズ、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ、両凸レンズ、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ、および凹面反射鏡CMから構成されている。なお、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間の光路中には、第1レンズ群G1からの光に対して平行平板として機能し、第2レンズ群G2からの光に対して平面反射鏡として機能する第1光路偏向部材M1が設けられている。

【0032】一方、第2結像光学系S2の第3レンズ群G3は、物体側から順に、両凸レンズ、および物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズから構成されている。また、第2結像光学系S2の第4レンズ群G4は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレン

ズ、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ、開口絞りAS、両凸レンズ、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ、両凹レンズ、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ、および両凸レンズから構成されている。なお、第3レンズ群G3と第4レンズ群G4との間の光路中には、平面反射鏡からなる第2光路偏向部材M2が設けられている。

【0033】次の表(2)に、本発明の第2実施例の諸元の値を掲げる。表(2)において、 β は光学系全体の縮小倍率を、NAiは像側の開口数を、d0は物体面と光学系の最も物体側の面(第1レンズ群G1の最も物体側の面)との軸上距離をそれぞれ表している。また、面番号は物体面から像面へ光線の進行する方向に沿った物体側からの面の順序を、rは各面の曲率半径を、dは各面の軸上間隔をそれぞれ示している。なお、各面の曲率半径rの符号は、物体面と凹面反射鏡CMとの間では物体側に凸面を向ける場合を正とし、第1光路偏向部材M1と第2光路偏向部材M2の間では第1光路偏向部材M1側(物体側)に凸面を向ける場合を正とし、第2光路偏向部材M2と像面との間では像側に凸面を向ける場合を正としている。また、面間隔dの符号は、凹面反射鏡CMから第1光路偏向部材M1までの光路中では負とし、第2光路偏向部材M2から像面までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。さらに、表(2)において、nは基準波長 $\lambda=193.4\text{nm}$ (ArFエキシマレーザの波長)に対する屈折率を表している。第1実施例では、光学材料として、石英($n=1.56019$)および螢石($n=1.50138$)を使用している。

【0034】第2実施例において、非球面は、頂点からの光軸垂直方向に沿った高さをy、高さyにおける頂点からの光軸方向の変位量(サグ量)を $S(y)$ 、基準の曲率半径(頂点の曲率半径)をr、円錐係数を κ 、n次の非球面係数を C_n としたとき、以下の数式(a)で表される。

【数1】

$$S(y) = (y^2 / r) / \{ 1 + \{ 1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2 \}^{1/2} \} + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} + C_{12} \cdot y^{12} \quad (a)$$

【0035】

β	-0.25		
NAi	0.6		
d0	45.000		
面番号	r	d	n
1	281.775	18.000	1.56019
2	195.859	1.598	
3	196.715	40.418	1.50138

【表2】

(9)

特開平10・10431

4	-480.361	14.536		
5	-548.718	20.000	1.56019	
6	204.428	5.448		
7	203.274	20.000	1.56019	
8	401.273	25.000		
9	∞	35.000	1.56019	(第1光路偏向部材M1:透過面)
10	∞	15.500		
11	303.555	30.000	1.50138	
12	-1740.057	5.924		
13	-425.354	20.000	1.56019	
14	-2761.815	171.793		
15	300.937	40.000	1.50138	
16	-2581.928	1.849		
17	288.864	20.000	1.56019	
18	177.975	57.224		
19	-175.888	20.000	1.56019	
20	764.840	0.500		
21	342.881	36.406	1.50138	
22	-329.279	48.341		
23	270.936	25.000	1.56019	
24	328.277	66.732		
25	778.307	40.000	1.56019	
26	-518.576	15.753		
27	-223.579	25.000	1.56019	
28	-658.513	42.435		
29	-229.025	25.000	1.56019	
30	-1514.955	17.542		
31	-332.936	-17.542		(凹面反射鏡CM:非球面)
32	-1514.955	-25.000	1.56019	
33	-229.025	-42.435		
34	-658.513	-25.000	1.56019	
35	-223.579	-15.753		
36	-518.576	-40.000	1.56019	
37	778.307	-66.732		
38	328.277	-25.000	1.56019	
39	270.936	-48.341		
40	-329.279	-36.406	1.50138	
41	342.881	-0.500		
42	764.840	-20.000	1.56019	
43	-175.888	-57.224		
44	177.975	-20.000	1.56019	
45	288.864	-1.849		
46	-2581.928	-40.000	1.50138	
47	300.937	-171.793		
48	-2761.815	-20.000	1.56019	
49	-425.354	-5.924		
50	-1740.057	-30.000	1.50138	
51	303.555	-0.500		
52	∞	233.000		(第1光路偏向部材M1:反射面)
53	415.207	31.117	1.50138	

54	-631.341	0.500	
55	306.049	20.000	1.56019
56	218.635	150.000	
57	∞	-165.240	(第2光路偏向部材M2)
58	-711.482	-25.000	1.56019
59	-2123.013	-302.795	
60	3482.765	-30.000	1.56019
61	654.764	-15.000	
62	∞	-59.904	(開口絞りAS)
63	-230.331	-70.000	1.50138 (非球面)
64	1603.607	-0.500	
65	-204.918	-28.538	1.56019
66	-602.518	-14.615	
67	1240.449	-30.000	1.56019
68	-510.567	-0.500	
69	-308.492	-70.000	1.56019
70	-714.386	-0.500	
71	-170.397	-45.000	1.56019
72	-62.983	-4.156	
73	-63.147	-62.343	1.56019
74	766.887	-17.000	

(非球面データ)

	κ	C_4	C_6
31面	0.0000	0.815186×10^{-10}	0.106110×10^{-13}
	C_8	C_{10}	C_{12}
	0.216157×10^{-19}	$-0.473987 \times 10^{-22}$	0.490366×10^{-27}
	κ	C_4	C_6
63面	0.0000	0.371510×10^{-10}	0.507303×10^{-13}
	C_8	C_{10}	C_{12}
	0.416256×10^{-18}	0.261764×10^{-22}	$-0.397276 \times 10^{-27}$

(条件対応値)

$$\beta 1 = -0.854038$$

$$L1 = 240$$

$$LM = 950$$

$$\phi c = 0.006712$$

$$\phi m = 0.006006$$

$$(1) |\beta 1| = 0.854038$$

$$(2) L1/LM = 0.253$$

$$(3) |\phi c/\phi m| = 1.117626$$

【0036】図4は、第2実施例の横収差図であって、(a)は最大像高 $Y=18.6$ における横収差図であり、(b)は中間像高 $Y=5.0$ における横収差図である。なお、各横収差図において、実線は基準波長 $\lambda=193.4\text{nm}$ に対する収差曲線を、二点鎖線は波長 $\lambda=193.0\text{nm}$ に対する収差曲線を、破線は波長 $\lambda=193.2\text{nm}$ に対する収差曲線を、一点鎖線は波長 $\lambda=193.6\text{nm}$ に対する収差曲線を、点線は波長 $\lambda=193.8\text{nm}$ に対する収差曲線をそれぞれ表している。図4の各横収差図を参照すると、第2実施例では、光学

系の像側において大きな開口数および作動距離を確保しているにもかかわらず、良好に収差補正されていることがわかる。特に、 $193.4 \pm 0.4\text{nm}$ において色収差が良好に補正され、優れた結像性能を有することがわかる。

【0037】

【効果】以上説明したように、本発明によれば、像側において十分大きな開口数および作動距離を有し、紫外線波長域でクォーターミクロン単位の解像度を有する小型の反射屈折光学系を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を概略的に示す図である。

【図2】第1実施例の横収差図であって、(a)は最大像高 $Y=18.6$ における横収差図であり、(b)は中間像高 $Y=5.0$ における横収差図である。

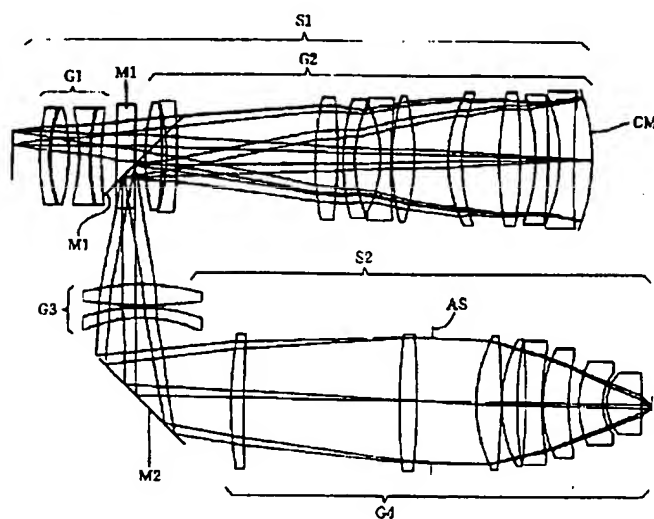
【図3】本発明の第2実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を概略的に示す図である。

【図4】第2実施例の横収差図であって、(a)は最大像高 $Y=18.6$ における横収差図であり、(b)は中間像高 $Y=5.0$ における横収差図である。

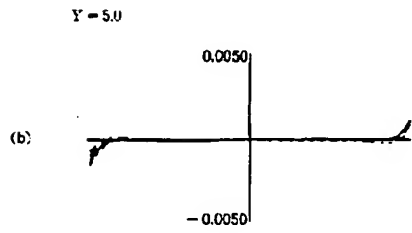
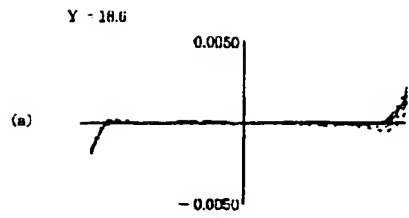
【符号の説明】

G1	第1レンズ群
G2	第2レンズ群
G3	第3レンズ群
G4	第4レンズ群
S1	第1結像光学系
S2	第2結像光学系
M1	第1光路偏向部材
M2	第2光路偏向部材
AS	開口絞り
CM	凹面反射鏡

【図1】

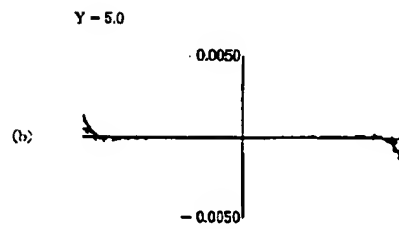
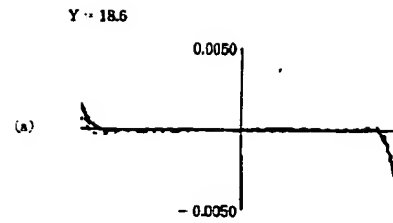


【図2】



..... 193.8nm
 193.6nm
 193.4nm
 193.2nm
 193.0nm

【図4】



..... 193.8nm
 193.6nm
 193.4nm
 193.2nm
 193.0nm

【図3】

